

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Penyediaan Air Bersih

2.1.1 Sistem perpipaan

Sistem ini menggunakan pipa sebagai sarana pendistribusian air. Unit pelayanannya dapat menggunakan Sambungan Rumah (SR), Sambungan Halaman dan Sambungan Umum. Untuk mendistribusikan air bersih dengan perpipaan terdapat beberapa sistem pengaliran yang tergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut adalah keadaan topografi, lokasi sumber air baku, dan elevasi daerah layanan. Sistem pengaliran tersebut antara lain:

1. Pengaliran gravitasi

Sistem pengaliran dengan gravitasi dilakukan dengan memanfaatkan tekanan akibat beda elevasi muka tanah, dalam hal ini jika daerah pelayanan terletak lebih rendah dari sumber air. Diperlukan beda elevasi antara sumber dan daerah layanan yang cukup besar sehingga tekanan yang diperlukan dapat dipertahankan.

2. Pengaliran pemompaan

Sistem pengaliran dengan pemompaan digunakan di daerah yang relatif datar dan tidak memiliki beda elevasi yang cukup besar. Distribusi air ke daerah layanan dengan mengandalkan tekanan dari pompa. Pada sistem ini tekanan sistem yang optimal perlu dihitung sehingga tidak terjadi

kelebihan atau kekurangan tekanan yang dapat mengganggu sistem pengaliran.

3. Sistem kombinasi

Sistem ini merupakan sistem gabungan dari sistem gravitasi dan sistem pemompaan. Pada sistem ini, air sebelum didistribusikan terlebih dahulu ditampung di *reservoir*. Pendistribusian air dapat dilakukan melalui sistem gravitasi maupun sistem pemompaan.

Rangkaian dari beberapa pipa dalam distribusi air bersih/ minum disebut jaringan pipa. Bentuk sistem jaringan perpipaan tergantung pada pola jalan yang ada dan jalan rencana. Selain itu juga bergantung pada topografi, pola perkembangan daerah pelayanan dan lokasi instalasi pengolahan. Pada dasarnya ada dua pola sistem jaringan distribusi yaitu sistem cabang dan sistem *loop*.

1. Sistem cabang

Sistem cabang adalah sistem pendistribusi air bersih yang bersifat terputus membentuk cabang-cabang sesuai dengan daerah layan. Pada sistem ini air mengalir dalam satu arah dan area layan disuplai melalui satu jalur pipa utama.

2. Sistem *loop*

Sistem *loop* terdiri dari pipa-pipa utama dan sekunder yang saling berhubungan satu sama lain dan membentuk *loop* (melingkar).

2.1.2 Sistem non perpipaan

Sistem distribusi ini tidak menggunakan pipa. Unit pelayanannya adalah Sumur Umum, Hidran Umum (HU) serta terminal air (kendaraan dengan tangki air/

water tank). Sumur umum merupakan pelayanan air bersih yang digunakan secara komunal pada kelompok masyarakat yang umumnya tiap satu sumur umum dipakai untuk melayani kurang lebih 20 orang. Hidran umum adalah pelayanan air bersih yang digunakan secara komunal pada suatu daerah tertentu untuk melayani 100 orang dalam setiap hidran umum. Sedangkan terminal air adalah distribusi air melalui tangki-tangki air yang diberikan pada daerah-daerah terpencil atau daerah yang rawan air bersih.

2.2 Pengaruh Jumlah Penduduk dan Fasilitas Sosial Ekonomi

Kependudukan merupakan faktor yang penting dalam suatu perencanaan air bersih. Kependudukan secara langsung mempengaruhi kuantitas air yang diperlukan untuk perencanaan. Begitu pula dengan faktor fasilitas sosial ekonomi yang didorong oleh pertumbuhan penduduk. Meningkatnya jumlah penduduk dan fasilitas sosial ekonomi menyebabkan bertambahnya kebutuhan serta permintaan pelayanan air bersih.

2.2.1 Proyeksi jumlah penduduk

Proyeksi penduduk adalah suatu metode yang digunakan untuk memperkirakan jumlah penduduk dimasa mendatang. Proyeksi penduduk didasari oleh data pertumbuhan penduduk pada tahun yang telah lalu. Dengan memperhitungkan pertumbuhan penduduk diharapkan proyeksi yang diperoleh akurat dan mendekati keadaan nyata di lapangan. Hasil proyeksi yang akurat mempengaruhi baik atau buruknya sebuah perencanaan.

Ada beberapa metode untuk melakukan proyeksi penduduk. Metode tersebut adalah metode aritmatika, geometrik, *least square*, eksponensial dan *logaritmik*. Untuk mencapai proyeksi yang akurat ditentukan nilai korelasi (r) dan standar deviasi dari lima metode tersebut. Nilai korelasi dari masing-masing metode yang mendekati angka 1 bersamaan dengan standar deviasi yang terkecil akan digunakan sebagai metode proyeksi penduduk.

Rumus korelasi yang digunakan adalah:

$$n = \sqrt{\frac{\Sigma (P_n - P_r)^2 - \Sigma (P_n - P)^2}{\Sigma (P_n - P_r)^2}} \quad (2-1)$$

Dimana:

P_n = jumlah penduduk tahun ke- n

P_0 = jumlah penduduk tahun awal

P = jumlah penduduk tahun proyeksi

P_r = jumlah penduduk rata-rata

Rumus standar deviasi yang digunakan adalah:

$$STD = \sqrt{\frac{\Sigma (P_n - P)^2 - [\Sigma (P_n - P)^2 / n]}{n}} \quad (2-2)$$

Dimana:

P_n = jumlah penduduk tahun ke- n

P_0 = jumlah penduduk tahun awal

P = jumlah penduduk tahun proyeksi

n = jangka waktu

1. Metode Aritmatik

Metode ini digunakan apabila data berakala menunjukkan jumlah perkembangan penduduk yang relatif sama tiap tahunnya. Rumus umum yang digunakan yaitu:

$$P_n = P_0 + r (T_n - T_0) \quad (2-3)$$

$$r = (P_2 - P_1) / n \quad (2-4)$$

Dimana:

P_n = jumlah penduduk tahun ke-n

P_0 = jumlah penduduk tahun awal

r = jumlah pertambahan penduduk tiap tahun rata-rata

T_n = tahun yang diproyeksi

T_0 = tahun awal

P_1 = jumlah penduduk tahun ke-1 (yang diketahui)

P_2 = jumlah penduduk tahun terakhir (yang diketahui)

n = jangka waktu

2. Metode Geometrik

Dalam metode geometrik proyeksi perkembangan penduduk didasarkan pada rasio pertumbuhan rata-rata tahunan penduduk. Metode ini digunakan bila data jumlah penduduk menunjukkan peningkatan yang pesat dari waktu ke waktu. Rumus umum yang digunakan yaitu:

$$P_n = P_2 (1 + r)^n \quad (2-5)$$

$$r = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/t} - 1 \quad (2-6)$$

Dimana:

P_n = jumlah penduduk tahun ke-n

r = laju pertumbuhan penduduk rata-rata tiap tahun (%)

P_1 = jumlah penduduk tahun ke-1 (yang diketahui)

P_2 = jumlah penduduk tahun terakhir (yang diketahui)

t = jumlah tahun -1

n = jangka waktu

3. Metode *Least Square*

Metode *least square* didasarkan pada pertumbuhan rata-rata tahunan penduduk dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$y = a + bx \quad (2-7)$$

Dimana:

x = jumlah tambahan dari tahun dasar

y = jumlah penduduk pada tahun proyeksi

a, b = konstanta

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 + (\sum x \sum xy)}{n \sum x^2 + (\sum x)^2} \quad (2-8)$$

$$b = \frac{\sum xy + \sum x \sum y}{n \sum x^2 + (\sum x)^2} \quad (2-9)$$

4. Metode Eksponensial

Metode eksponensial dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$y = ae^{bx_n} \quad (2-10)$$

$$\ln a = \left(\frac{1}{n} \right) (\sum \ln y - b \sum x) \quad (2-11)$$

$$a = e^{\ln a} \quad (2-12)$$

$$b = \frac{n \sum (x \ln y) - (\sum x \sum \ln y)}{n (\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2-13)$$

Dimana:

y = jumlah penduduk pada tahun proyeksi

a, b = konstanta

n = jangka waktu

5. Metode *Logaritmik*

Metode *logaritmik* dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$y = a + b \ln x \quad (2-14)$$

$$a = \left(\frac{1}{n} \right) (\sum y - b \sum \ln x) \quad (2-15)$$

$$b = \frac{n \sum (y \ln x) - (\sum y \sum \ln x)}{n (\sum \ln x^2) - (\sum \ln x)^2} \quad (2-16)$$

Dimana:

y = jumlah penduduk pada tahun proyeksi

a, b = konstanta

n = jangka waktu

2.2.2 Proyeksi jumlah fasilitas sosial ekonomi

Fasilitas sosial ekonomi yang menggunakan air bersih juga harus diperhitungkan dalam perencanaan instalasi distribusi air bersih. Fasilitas sosial antara lain adalah tempat ibadah, pendidikan, sarana kesehatan. Sedangkan fasilitas ekonomi mencakup gedung komersial, perkantoran, industri serta yang lainnya.

Perhitungan proyeksi fasilitas tersebut dapat dilakukan dengan pendekatan perbandingan jumlah penduduk.

$$\frac{\text{Penduduk Tahun ke } - n}{\text{Penduduk Tahun Awal}} = \frac{\text{Fasilitas Tahun ke } - n}{\text{Fasilitas Tahun Awal}} \quad (2-17)$$

2.3 Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air bersih dalam sebuah perencanaan perlu memerhatikan beberapa hal, yaitu kebutuhan air domestik dan non domestik, fluktuasi kebutuhan air bersih serta kehilangan air. Perolehan dari perhitungan kebutuhan air mempengaruhi baik atau buruknya sebuah perencanaan. Dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut perolehan kebutuhan air bersih mendekati hasil nyata. Hasil tersebut dijadikan acuan dasar perencanaan maupun pengembangan sistem jaringan distribusi air bersih.

2.3.1 Kebutuhan air domestik

Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air yang digunakan pada tempat-tempat hunian pribadi untuk memenuhi keperluan sehari-hari seperti memasak, minum, mencuci dan keperluan rumah tangga lainnya. Hal-hal tersebut sangat mempengaruhi perencanaan karena jumlah air yang digunakan bersifat fluktuatif. Jumlah kebutuhan air selalu bervariasi didasari oleh faktor kebiasaan, pola dan tingkat kehidupan yang didukung oleh adanya perkembangan sosial ekonomi. Kebutuhan air domestik terbagi dalam beberapa kategori seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Kebutuhan Air Bersih Berdasarkan Kategori Kota

Uraian	Kategori Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
	> 1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	< 20.000
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
1	2	3	4	5	6
1. Konsumsi Unit Sambungan Rumah (SR) (lt/orang/h)	> 150	150 - 120	90 - 120	80 - 120	60 - 80
2. Konsumsi Unit Hidran (HU) (lt/orang/h)	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40	20 - 40
3. Konsumsi unit non domestik					
a. Niaga Kecil (lt/unit/h)	600 – 900	600 – 900		600	
b. Niaga Besar (lt/unit/h)	1000 – 5000	1000 – 5000		1500	
c. Industri Besar (lt/s/ha)	0.2 – 0.8	0.2 – 0.8		0.2 – 0.8	
d. Pariwisata (lt/s/ha)	0.1 – 0.3	0.1 – 0.3		0.1 – 0.3	
4. Kehilangan Air (%)	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30
5. Faktor Hari Maksimum	1.15 – 1.25 * harian	1.15 – 1.25 * harian	1.15 – 1.25 * harian	1.15 – 1.25 * harian	1.15 – 1.25 * harian
6. Faktor Jam Puncak	1.75 – 2.0 * hari maks	1.75 – 2.0 * hari maks	1.75 – 2.0 * hari maks	1,75 * hari maks	1,75 * hari maks
7. Jumlah Jiwa per SR (jiwa)	5	5	5	5	5
8. Jumlah Jiwa per HU (jiwa)	100	100	100	100 - 200	200
9. Sisa Tekan di Penyediaan Distribusi (m)	10	10	10	10	10
10. Jam Operasi (jam)	24	24	24	24	24

(Lanjutan)

Uraian	Kategori Berdasarkan Jumlah Penduduk (Jiwa)				
	> 1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	< 20.000
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
1	2	3	4	5	6
11. Volume <i>Reservoir</i> (% <i>Max Day Demand</i>)	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25	15 - 25
12. SR:HU	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30
13. Cakupan Pelayanan (%)	90	90	90	90	70

Sumber : Ditjen Cipta Karya, Dep. Pu, 1997

2.3.2 Kebutuhan air non domestik

Merupakan kebutuhan air bersih diluar keperluan rumah tangga. Kebutuhan air non domestik dipengaruhi besarnya pemakaian oleh konsumen non domestik yang terbagi atas dua yaitu penggunaan umum serta penggunaan komersil dan industri. Jumlah total kebutuhannya perlu diperhitungkan sesuai dengan fasilitas yang ada. Kebutuhan air non domestik diasumsikan sebagaimana dalam Tabel 2.2, Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.2 Kebutuhan Air Non Domestik untuk Kategori I, II, III, IV

Sektor	Nilai	Satuan
Sekolah	10	lt/murid/h
Rumah Sakit	200	lt/bed/h
Puskesmas	2000	lt/unit/h
Masjid	3000	lt/unit/h
Kantor	10	lt/pegawai/h
Pasar	12000	lt/ha/h
Hotel	150	lt/bed/h
Rumah Makan	100	lt/kursi/h
Komplek Militer	60	lt/orang/h
Kawasan Industri	0,2 - 0,8	lt/s/ha

Sumber: Ditjen Cipta Karya, Dep. Pu, 1997

Tabel 2.3 Kebutuhan Air Non Domestik untuk Kategori Lain

Sektor	Nilai	Satuan
Lapangan Terbang	10	lt/orang/s
Pelabuhan	50	lt/orang/s
Stasiun KA dan Terminal Bus	10	lt/orang/s
Kawasan Industri	0,75	lt/s/ha

Sumber: Ditjen Cipta Karya, Dep. Pu, 1997

Tabel 2.4 Kebutuhan Air Bersih Menurut PPSAB

No.	Jenis Pemakaian	Satuan	Kebutuhan
1	Sambungan Rumah	lt/orang/h	100-200
2	Hidran Umum	lt/orang/h	30-40
3	Sekolah	lt/murid/h	15-30
4	Kantor	lt/pegawai/h	40-80
5	Mesjid	lt/unit/h	800-2000
6	Langgar	lt/unit/h	300-1000
7	Gereja	lt/unit/h	200-600
8	Pura/Vihara	lt/unit/h	100-500
9	Pesantren	lt/unit/h	5000
10	Rumah Sakit	lt/bed/h	200-400
11	Puskesmas	lt/unit/h	1000-2000
12	Puskesmas Pembantu	lt/unit/h	800-1200
13	BKIA/RS. Bersalin	lt/unit/h	600-1000
14	Balai Pengobatan	lt/unit/h	1000-2000
15	Apotek	lt/unit/h	100
16	Bank	lt/unit/h	1100-1500
17	Warung/Toko	lt/unit/h	6-12
18	Pasar	lt/unit/h	2500-5000
19	Koperasi	lt/unit/h	500-1000
20	Asuransi	lt/unit/h	1100
21	Terminal	lt/unit/h	2000-4500
22	Supermarket	lt/unit/h	1500-2500
23	Restoran	lt/kursi/h	40-140
24	Bioskop	lt/unit/h	1000-3000
25	Gedung Serba Guna	lt/unit/h	1000-3000
26	Balai Pertemuan	lt/unit/h	2000
27	Kantor Pos	lt/unit/h	2000
28	Kantor Polisi	lt/unit/h	2000

(Lanjutan)

No.	Jenis Pemakaian	Satuan	Kebutuhan
29	Hotel/Penginapan	lt/bed/h	75-150
30	Gelanggang Olahraga	lt/unit/h	1200-1600
31	Kolam Renang	lt/unit/h	1000-1300
32	Industri	lt/orang/h	20-30

Sumber: Proyek Peningkatan Sarana Air Bersih (PPSAB), Jawa Barat

2.3.3 Fluktuasi kebutuhan air bersih

Merupakan persentase pemakaian air pada tiap jam yang tergantung dari aktivitas penduduk, kebiasaan penduduk serta pola tata kota sehingga kebutuhan air tiap waktu tidak sama. Hal ini juga dipengaruhi perkembangan penduduk. Fluktuasi kebutuhan air didasarkan pada kebutuhan air harian maksimum (Q_{max}). Selain itu juga didasarkan pada kebutuhan air jam maksimum (Q_{peak}).

2.3.4 Kehilangan air

Merupakan selisih antara jumlah air yang diproduksi di unit pengolahan dengan jumlah air yang dikonsumsi dari jaringan distribusi. Kehilangan air dapat bersifat teknis dan non teknis. Pada umumnya dalam melakukan perencanaan nilai kehilangan yang terjadi sudah masuk dalam perhitungan. Besarnya nilai kehilangan air tersebut dibatasi 15% dari total kebutuhan air bersih baik domestik maupun non domestik.

2.4 Sumber Air Baku

Air baku merupakan air yang didistribusikan dalam penyediaan air bersih/ konsumsi yang harus memenuhi baku mutu tertentu sebagai bahan baku untuk air bersih/ konsumsi. Air baku dapat diperoleh dari beberapa sumber air seperti air

hujan, air tanah, mata air dan air permukaan. Dalam perencanaan, sebelum menentukan sumber air baku mana yang dipakai harus diperhatikan kualitas, kuantitas, dan kontinuitas sumber air baku tersebut. Hal ini dikarenakan masing-masing sumber air baku memiliki karakter yang berbeda sehingga perlu direncanakan dengan baik.

2.4.1 Air permukaan

Air permukaan adalah air yang berada di permukaan bumi yang tidak mengalami infiltrasi ke bawah tanah. Terdiri dari air sungai, air rawa, air danau, dan air waduk. Air sungai merupakan alternatif sumber air yang paling mudah diperoleh karena kondisinya yang mudah dijangkau dan terletak dekat dengan pemukiman masyarakat. Fluktuasi air sungai tinggi karena dipengaruhi oleh air hujan. Dari segi kualitasnya air sungai banyak yang tidak memenuhi syarat sebagai air bersih sehingga perlu pengolahan lebih lanjut. Sedangkan air rawa/ danau/ waduk, merupakan genangan air dengan volume relatif besar yang terdapat pada cekungan permukaan tanah baik alamiah maupun buatan.

2.4.2 Air hujan

Sumber air baku yang berasal dari air hujan pada umumnya digunakan sebagai suplemen, bukan sumber utama. Hal ini dikarenakan curah hujan fluktuasinya sangat tinggi. Dengan demikian pemanfaatannya sebagai sumber air baku terbatas pada daerah dengan curah hujan tinggi. Selain itu hal yang perlu diperhatikan adalah ketersediaan tempat penangkapan air hujan, kualitas air serta pengelolaannya yang tepat.

2.4.3 Air tanah

Air tanah merupakan air yang terdapat dalam lapisan tanah. Lapisan yang dimaksud disebut akuifer, yang mampu menampung air dalam kuantitas besar. Pada beberapa daerah tertentu air tanah sering dimanfaatkan sebagai sumber air baku mengingat kuantitasnya besar. Kuantitas dan kontinuitas air tanah dipengaruhi oleh luasnya daerah resapan, sehingga berkurangnya ruang resapan mengakibatkan kuantitas dan kontinuitasnya juga berkurang. Air tanah terdiri dari air tanah dangkal, air tanah dalam, dan mata air.

1. Air tanah dangkal

Terjadi karena proses peresapan air dari permukaan tanah. Terdapat pada kedalaman kurang lebih 15 meter dari permukaan. Sebagai sumur untuk sumber air bersih cukup baik dari segi kualitas tetapi kuantitas sangat tergantung pada musim.

2. Air tanah dalam

Berada di bawah lapisan kedap air. Pengambilan dilakukan dengan pengeboran. Umumnya terdapat pada kedalaman 80-300 meter dibawah permukaan tanah. Dapat terjadi artesis (semburan ke permukaan) jika tekanan besar.

3. Mata Air

Mata air adalah air tanah dalam yang merupakan sumber air yang sangat potensial karena pada umumnya berkualitas baik, terlebih dapat dialirkan ke sistem penampung secara gravitasi.

2.5 Kriteria Jaringan Pipa Air Bersih

Kriteria jaringan pipa air bersih yang dipakai dalam perencanaan harus sesuai dengan standar yang berlaku. Kriteria jaringan yang dipakai sebagai acuan dapat diperoleh dari Peraturan Menteri PU No. 18/RT/M/2007. Kriteria jaringan yang diatur yaitu tekanan pada *node*, kecepatan, dan *headloss gradient* pipa. Hal ini dilakukan agar hasil perencanaan pada saat pengoperasian dapat berjalan sesuai dengan standar yang ada. Kriteria kecepatan aliran dalam pipa 0,3 – 4,5 m/s. Tekanan pada *node* mulai dari 0,5 – 8 atm. *Headloss gradient* pipa mulai dari 0 – 15 m/km. (Lampiran E).

Penyesuaian perlu dilakukan pada komponen pipa jaringan agar dapat memenuhi syarat. Pipa dengan kecepatan aliran yang kurang dari 0,3 m/s perlu diperkecil diameternya, bila lebih dari 4,5 m/s maka diameter perlu diperbesar. Bila terdapat *Node* yang memiliki tekanan kurang dari 0,5 atm pada sistem jaringan maka perlu diperbesar diameter pipa yang terhubung pada *node* tersebut atau ditambahkan pompa pada sistem jaringan sedangkan bila tekanan melebihi 8 atm pipa yang terhubung dengan *node* tersebut perlu diperkecil diameternya atau dengan melakukan pemasangan *pressure reducer valve* (PRV). *Headloss gradient* pada tiap pipa dalam jaringan yang melebihi 15 m/km perlu diperbesar diameternya agar dapat memenuhi syarat.

2.6 Komponen Jaringan Distribusi

Sistem distribusi air bersih perpipaan pada umumnya mencakup beberapa komponen, yaitu reservoir dan jaringan perpipaan. *Reservoir* mempunyai fungsi

penting bagi sistem penyediaan air bersih di suatu daerah. Perbedaan kapasitas pada jaringan transmisi jaringan yang menggunakan kebutuhan maksimum per hari dengan kebutuhan pada jam puncak untuk sistem distribusi, menyebabkan dibutuhkan *reservoir*. Saat pemakaian air berada di bawah rata-rata, *reservoir* akan menampung kelebihan air untuk digunakan saat pemakaian maksimum. Fungsi dari *reservoir* antara lain adalah untuk menampung air bersih yang siap didistribusikan, meratakan debit air dalam sistem jaringan distribusi serta mengatur tekanan air dalam jaringan distribusi. Berdasarkan lokasinya *reservoir* dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. *Elevated Reservoir*

Reservoir yang menyimpan atau menampung air yang terletak diatas tanah.

2. *Ground Reservoir*

Reservoir yang menyimpan atau menampung air yang terletak dibawah tanah.

Jaringan perpipaan merupakan penghubung antara *node*. Penghubung antar pipa tersebut biasanya berupa *tee* yang tergolong sebagai aksesoris pipa. Aksesoris pada jaringan perpipaan memengaruhi kehilangan air. Fungsi dari jaringan perpipaan adalah untuk mengalirkan air dari penyedia distribusi menuju konsumen. Jaringan perpipaan terdiri dari beberapa komponen, meliputi:

1. Pipa utama/ primer

Pipa utama merupakan pipa distribusi yang menghubungkan blok-blok pelayanan dalam area yang dilayani, dimulai dari *reservoir* ke seluruh jaringan. Pipa ini tidak dapat dipakai untuk melayani penyadapan (*tapping*)

ke konsumen. Jenis pipa yang digunakan harus mempunyai ketahanan tinggi terhadap tekanan.

2. Pipa distribusi/ sekunder

Pipa distribusi dipakai untuk menyadap air langsung dari pipa utama untuk mengalirkan ke suatu blok pelayanan. Jenis pipa yang digunakan sebaiknya memiliki kualitas yang relatif sama dengan pipa utama. Pipa distribusi terhubung secara langsung dengan pipa servis dan diameternya dapat ditentukan berdasarkan banyaknya pipa servis yang terhubung dengan pipa distribusi tersebut.

3. Pipa servis/ tersier

Pipa servis adalah pipa yang melayani dan terhubung secara langsung dengan konsumen. Pipa ini berhubungan dengan pipa distribusi dan mengalirkan air ke konsumen dengan diameter tertentu sesuai dengan pemakaian konsumen.

4. *Fitting* dan aksesoris

Fitting dapat berupa *tee* dan *bend* yang menghubungkan satu pipa ke pipa lain sedangkan aksesoris yang umumnya digunakan adalah *valve*, *enlarger* dan *reducer*.

5. *Water meter*

Water meter berfungsi untuk memonitor penggunaan air.

6. Keran kebakaran/ hidran

Keran kebakaran digunakan sebagai titik pengambilan air pada saat kebakaran dan juga dapat berfungsi sebagai ventilasi (*air valve*).

2.7 Analisis Hidrolika Aliran Dalam Pipa

2.7.1 Hukum kontinuitas

Debit air yang mengalir dalam jaringan pipa adalah sama. Hal ini dapat dibuktikan melalui hukum kontinuitas yang memiliki persamaan sebagai berikut:

$$Q_1 = Q_2 \quad (2-18)$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2-19)$$

Dimana:

Q_1 = debit dalam potongan pipa 1 (m^3/s)

Q_2 = debit dalam potongan pipa 2 (m^3/s)

A_1 = luas penampang pada potongan pipa 1 (m^2)

A_2 = luas penampang pada potongan pipa 2 (m^2)

V_1 = kecepatan aliran pada potongan pipa 1 (m/s)

V_2 = kecepatan aliran pada potongan pipa 2 (m/s)

2.7.2 Hukum kekekalan energi

Aliran dalam pipa memiliki tiga macam energi yang bekerja, yaitu energi kecepatan, energi tekanan, dan energi ketinggian. Hal tersebut merupakan hukum *Bernoulli* yang menyatakan bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah jumlah dari tiga energi tersebut. Hal ini dapat ditulis sebagai persamaan berikut:

$$E_{Total} = \text{energi kecepatan} + \text{energi tekanan} + \text{energi ketinggian} \quad (2-20)$$

$$E_{Total} = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma_w} + h \quad (2-21)$$

Dimana:

v = kecepatan aliran (m/s)

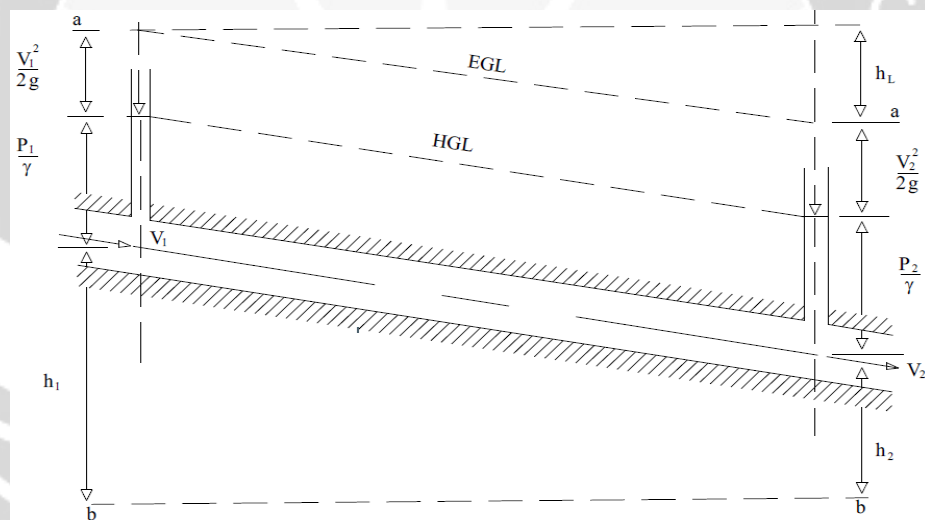
p = tekanan (kg/m²)

γ_w = berat jenis air (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

h = elevasi (m)

Menurut teori kekekalan energi dari hukum *Bernoulli* yaitu apabila tidak ada energi yang lolos atau diterima antar dua titik dalam satu sistem tertutup, maka energi totalnya tetap konstan. Hal tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Garis Tenaga dan Tekanan

Sumber: Triatmodjo (1994)

Persamaan *Bernoulli* pada Gambar 2.1 dapat ditulis sebagai berikut:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma_w} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma_w} + h_L \quad (2-22)$$

Dimana:

h_1, h_2 = tinggi elevasi di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m)

p_1, p_2 = tinggi tekanan di titik 1 dan 2 (m)

$$\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g} = \text{tinggi energi di titik 1 dan 2 (m)}$$

$$h_L = \text{kehilangan tinggi tekanan dalam pipa (m)}$$

2.7.3 Kehilangan tekanan

1. Kehilangan Tinggi Tekanan Minor

Kehilangan tinggi tekanan minor umumnya disebabkan oleh adanya faktor penggunaan aksesoris. Faktor penyebab kehilangan tinggi tekan minor diantaranya adalah penyempitan maupun pelebaran mendadak pada pipa (akibat *enlarger* dan *reducer*), belokan pada pipa (*bend*), dan bentuk sambungan (penggunaan *tee*). Pada pipa pendek hal ini menjadi cukup penting sedangkan pada pipa yang panjang, kehilangan tinggi tekanan minor sering diabaikan ($L/D \gg 1000$).

2. Kehilangan Tinggi Tekanan Mayor

Kehilangan tinggi tekanan mayor dapat dihitung dengan beberapa teori dan persamaan yang umumnya digunakan, diantaranya yaitu teori *Hazen-Williams*, *Swamme-Jain*, *Darcy-Weisbach*, *Manning-Chezy*, dan *Colebrook-White*. Dalam perencanaan digunakan persamaan *Hazen-Williams* yaitu:

$$Q = 0,354 \cdot C_{hw} \cdot A \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2-23)$$

$$V = 0,354 \cdot C_{hw} \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2-24)$$

$$H_f = \frac{10,7 \times Q^{1,852}}{D^{4,87} \times C_{hw}^{1,852}} \times L \quad (2-25)$$

Dimana:

$$Q = \text{debit dalam pipa (m}^3/\text{s)}$$

V = kecepatan aliran pada pipa (m/s)

H_f = kehilangan tekanan dalam pipa (m)

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

A = luas penampang pipa (m²)

C_{hw} = koefisien Hazen-William

S = kemiringan hidraulis

R = jari-jari hidrolis (m)

2.8 Analisis Software Bentley WaterCAD v8i

Software Bentley WaterCAD v8i merupakan suatu program simulasi jaringan pipa distribusi yang dapat membantu perencanaan suatu sistem jaringan distribusi, dimana program ini dapat menganalisa suatu model jaringan distribusi apakah telah memenuhi ekspektasi dengan yang direncanakan. Dalam pembuatan model, diperlukan data-data yang tepat agar model yang direncanakan sesuai dengan kondisi di lapangan.

Keuntungan dalam menggunakan *software* tersebut adalah dapat mengecek kesalahan pada saat *input* data, menampilkan analisa jaringan, bantuan dalam pengeditan yang sistematis serta *output* dapat berupa grafik yang dapat diatur sesuai keperluan. Dibutuhkan beberapa *item* untuk dapat menjalankan *Bentley WaterCADv8i* sehingga didapatkan hasil yang sesuai, antara lain:

1. *Link*: berupa pipa
2. *Node*: dapat berupa *junction*, tank, atau *reservoir*

Data yang dibutuhkan dalam pengerjaan *software Bentley WaterCAD v8i* antara lain:

1. Peta jaringan
2. Elevasi wilayah perencanaan
3. *Node/Junction*
4. Besar debit masing-masing *node*
5. Jenis pipa
6. Panjang pipa
7. Diameter pipa
8. Faktor fluktuasi pemakaian air

Data yang dapat dihasilkan antara lain :

- 1) *Hydraulic grade line* masing-masing titik
- 2) Tekanan air
- 3) Kecepatan aliran (*velocity*),
- 4) Kehilangan air (*unit headloss*), dan lainnya